

Universidad Complutense de Madrid

Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera



## **Planetario UCM**

Trabajo académicamente dirigido  
Raquel Chicharro Fuertes

Bajo la dirección de los profesores  
Jaime Zamorano, Nicolás Cardiel y Jesús Gallego

Curso 2009/2010

# ÍNDICE

1. Introducción.	Pág. 3
2. Problemas abiertos en el trabajo de Raúl Cacho.	6
3. Objetivos.	7
4. Cúpula del planetario UCM:	8
4.1 La fibra de vidrio	8
4.2 Diseño de la cúpula.	9
4.3. Construcción:	14
4.3.1. Construcción del molde.	14
4.3.2. Construcción de un gajo.	20
4.4 Montaje:	24
4.4.1 Primer montaje.	24
4.4.2 Montaje definitivo en el hueco de la escalera.	25
5. Cuidado y mantenimiento de la cúpula:	29
5.1 Limpieza.	29
5.2 Reparaciones.	29
5.3 Accesibilidad. Montaje y desmontaje.	29
6. Sistema de proyección:	30
6.1 Elección del proyector.	32
6.2 Espejo esférico.	33
6.3 Espejo plano.	34
7. Proyección en el planetario UCM.	35
7.1 Software de proyección en un espejo esférico.	35
7.2 Montaje del sistema de proyección.	40
7.3 Cómo hacer una proyección en el Planetario UCM.	41
8. Resultados.	42
9. Trabajo futuro.	43
10. Apéndice I.	44
11. Bibliografía y referencias.	46
12. Agradecimientos.	47

## 1. Introducción

El proyecto del Planetario UCM comenzó su andadura en el curso académico 2007/2008, con el trabajo académicamente dirigido del alumno Raúl Cacho, quien construyó la cúpula en cartón-pluma y diseñó buena parte del sistema de proyección. Desde entonces, el objetivo del proyecto es la finalización del mismo, para lo cual es necesario e indispensable hacer un soporte que albergue el sistema de proyección, así como la consecución de una nítida y buena proyección en la cúpula del planetario.

El planetario consiste en una cúpula cuasiesférica o esférica, sobre la que se proyectará la imagen de un programa planetario (Stellarium), tras reflejarse en un espejo semiesférico. Las distorsiones producidas sobre la imagen en cada uno de los elementos del planetario, quedarán compensadas entre sí para ofrecer una imagen nítida, bien enfocada y fiel a la realidad sobre la cúpula.

Tal y como se puede consultar en la memoria de Raúl Cacho, la cúpula geodésica se diseñó a partir de un icosaedro formado por triángulos, cada uno de los cuales puede dividirse en triángulos más pequeños, dando lugar a nuevos tipos de cúpulas, denominadas  $nV$ , donde  $n$  es el número de nuevos triángulos en los que se dividen los triángulos del icosaedro.



Figura 1.1 Cúpulas formadas por icosaedros 2V, 3V y 4V

Una cúpula con mayor índice  $n$  se acercará más a una semiesfera (que es una geodésica en la que  $n$  tiende a infinito), pero también aumenta la dificultad de su construcción. Finalmente se llegó a un compromiso entre precisión y simplicidad y se escogió la cúpula 3V, la cual podemos ver en la siguiente simulación:

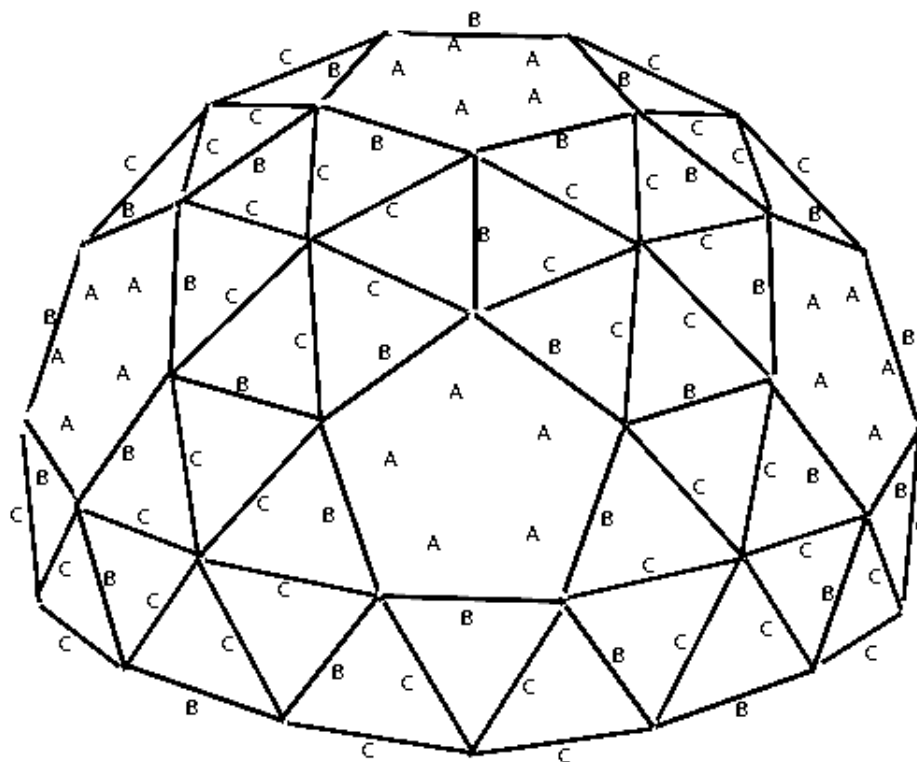


Figura 1.2 Cúpula geodésica escogida para el planetario en el curso 2007-08

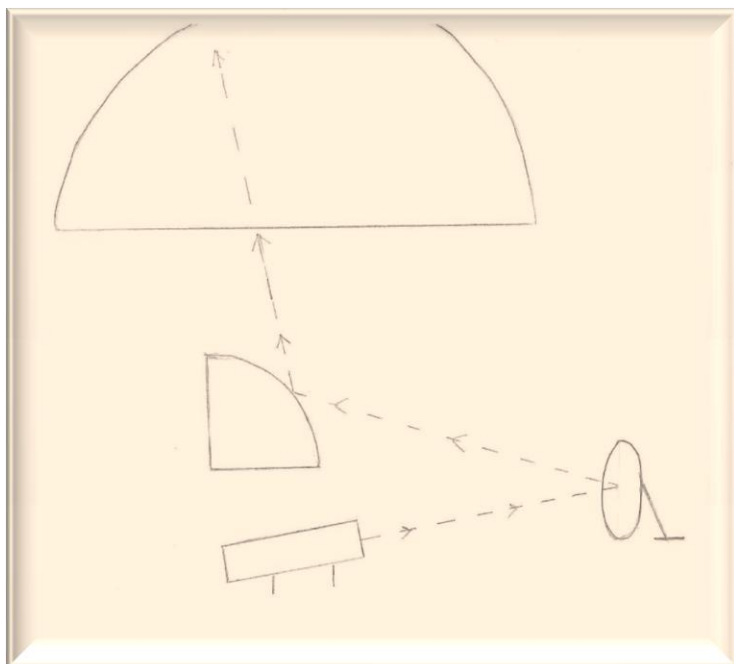
La cúpula de 1.32m de radio fue montada en el hueco de la escalera de la sala de entre cúpulas.



Figura 1.3 La cúpula antigua del planetario una vez montada en el hueco de la escalera de la subida a sala entre cúpulas.

En el montaje de la cúpula surgió por primera vez, el problema de la accesibilidad a la sala de entre cúpulas, ya que teniendo en cuenta los escalones, la cúpula dejaba una altura desde el suelo de 1.75m de altura, claramente insuficiente para el paso cómodo de una persona. Por esta razón, se decidió recortar la cúpula por la parte de subida de las escaleras como se aprecia en la figura 1.3.

En cuanto al sistema de proyección diseñado, consiste en un proyector de video que manda la imagen proporcionada por el ordenador donde corre el programa Stellarium a un espejo plano y éste a su vez la refleja en un espejo semiesférico que finalmente la manda a la cúpula del planetario (Figura 1.4).



La causa de que se eligiera un espejo semiesférico, supliendo a una lente de ojo de pez fue debido a que el software astronómico Stellarium tiene un sistema de proyección en planetarios de bajo coste, que es idéntico al mencionado. Así pues, la idea original fue la de explotar las ventajas que ofrece Stellarium para la proyección en planetarios.

Figura 1.4 Sistema de proyección

El software de Stellarium es fácil de adaptar a la cúpula y al sistema de proyección deseados, por medio de un fichero de configuración inicial, que permite escoger una serie de parámetros libres, como son el radio de la cúpula, el radio del espejo semiesférico, las distancias relativas proyector- espejo, proyector-cúpula, etc.

## **2. Problemas abiertos en el trabajo de Raúl Cacho**

En la memoria del trabajo del curso 2007-2008, Raúl Cacho menciona los pasos necesarios para completar el planetario y los trabajos futuros de mejora del sistema. Entre ellos se mencionan los más importantes con las soluciones que se han dado en el trabajo de este curso.

- Un posible trabajo futuro es el alisado de la cúpula para una mejor aproximación a la semiesfera. Puede hacerse con espuma de poliuretano, un material ligero y fácil de trabajar. Posteriormente deberá aplicarse imprimación y pintar para homogeneizar el color de la cúpula. En este curso se ha construido una cúpula esférica en fibra de vidrio.
- El espejo metálico construido a partir de un cuenco de acero inoxidable que fue pulido a mano no presenta la reflectividad suficiente. La idea de Raúl Cacho era enviarlo al Centro de Asistencia a la Investigación de la UCM (CAI de talleres) para conseguir la mayor reflectividad posible. Este paso no ha sido necesario ya que se ha adquirido un espejo semi esférico como los usados en sistemas de seguridad que presenta una magnífica reflectividad y calidad de imagen.
- La selección de la configuración final del sistema óptico de proyección estaba pendiente de la adquisición de un proyector de video dedicado al planetario ya que utilizar uno de uso común y colocarlo en cada caso se demostró que era un método poco fiable ya que exigía una colimación del sistema en cada uso. En el presente curso se ha elegido y adquirido el proyector y se ha definido la configuración del sistema óptico en un formato compacto.

### 3. Objetivos

El objetivo principal que se marcó al principio del proyecto, fue como he mencionado con anterioridad, la finalización del Planetario UCM. Para ello se solucionaron los asuntos pendientes definidos en el trabajo de Raúl Cacho y otros que surgieron durante el presente curso. La construcción de una nueva cúpula semiesférica de mayor consistencia y rigidez no era un asunto primordial pero fue abordado por mí con el fin de mejorar el resultado final y fue asumido como un desafío.

Las tareas pendientes al comenzar el trabajo se pueden resumir en los siguientes apartados:

- a) Elección y compra del proyector de video.
- b) Diseño de la configuración del sistema óptico de proyección. Selección del lugar apropiado. Construcción y montaje del soporte mecánico.
- c) Optimización de los parámetros de Stellarium para la proyección en la cúpula del planetario. Puesta a punto de la proyección.
- d) Finalización y puesta en marcha del Planetario UCM para clases de los alumnos de astrofísica, visitas guiadas al observatorio UCM etc.

La construcción de la nueva cúpula aumentó considerablemente el número de tareas:

- e) Patrocinio de alguna empresa con el fin de tener un planetario de mayor calidad con respecto al presupuesto inicial.
- f) Diseño de una cúpula de mayor consistencia y construcción de una cúpula esférica.
- g) Solución al problema de la accesibilidad a la sala de entre cúpulas, una vez montada la cúpula.
- h) Montaje de la cúpula en el hueco de la escalera.

## **4. Cúpula del Planetario UCM.**

### **4.1 Introducción a una cúpula en fibra de vidrio.**

La primera idea, en lo que se refiere a la cúpula, fue la de reforzar la ya existente. Para ello, pensamos en las posibilidades que ofrece el poliéster, o fibra de vidrio, al ser éste un material con las características que buscábamos, es decir, un material flexible, ligero, pero a la vez consistente y robusto. De hecho, la fibra de vidrio es el material en el que se construye cualquier barco de hoy en día. La única diferencia que hay entre nuestra cúpula y un barco, es a groso modo, aunque parezca sorprendente, el número de capas de fibra de vidrio que se le da a uno y a otro.

Otro ejemplo en el que se emplea la fibra de vidrio y que revela y da cuenta aún más de su ligereza, es en el aeromodelismo y en la propia aviación civil y militar. Buena parte de los aviones se hacen de fibra de vidrio puesto que el peso es de vital importancia, lo mismo que en el caso de nuestra cúpula.

Como cabía esperar, este material ha sido usado durante muchos años como excelente aliado de astrónomos profesionales y amateurs, para la construcción de cúpulas. En este caso, no de cúpulas para planetarios, sino de cúpulas para observatorios. De hecho, en el observatorio UCM se colocó al principio una cúpula de fibra de vidrio y casi todas las cúpulas de observatorios, están hechas de este material por las innumerables ventajas que ofrece. Entre ellas, que es muy resistente a todo tipo de inclemencias meteorológicas y un aislante excelente.

La primera búsqueda bibliográfica que realizamos, nos llevó a un artículo de un astrónomo aficionado japonés que se había fabricado su propia cúpula de observatorio (ver bibliografía para referencia). De forma semejante a la mía, Tatsuro Matsumoto había pensado en la construcción de embarcaciones como ejemplo ilustrativo de trabajos en fibra de vidrio. Este artículo nos sirvió para darnos cuenta de que mejor que hacer una réplica de la ya existente y por tanto otra cuasisemiesfera, podíamos hacer una cúpula por “gajos” y por tanto semiesférica.

La fibra de vidrio se compone de un material formado por fragmentos de fibras de vidrio aglomerado con resinas, es decir, una malla o tela flexible entretejida, formada a partir de vidrio líquido que se deja solidificar. Pero estrictamente hablando, la fibra de vidrio es el resultado de mezclar dicha malla de vidrio, con una resina, la cual primero es líquida para después solidificar y mantener la forma final o aquella adquirida por el molde. Para que la resina solidifique en un periodo de tiempo determinado, es necesario acelerar la reacción química mediante el uso de



un catalizador (Peróxido de Metil-Etil-Cetona). Esta cantidad de catalizador variará en función de la época del año en la que construyamos la cúpula. De hecho, fue curioso observar que cuando empecé las primeras piezas en enero, daba el reactivo sin prisa y de forma tranquila, ya que el tiempo de solidificación era grande. Sin embargo, cuando hice las últimas piezas, a principios de Abril, tardaba menos en solidificar debido al aumento de temperatura y por tanto, además de tener que ir más rápido, necesité de alguna persona más que aplicara el reactivo conmigo.

Es importante resaltar, que el catalizador es bastante tóxico y volátil, hecho del que me pude percatar por las fotos que me hicieron durante la realización de una de las piezas, debido a que tenía la nariz y las manos rojas. A partir de ese momento, no dudé en usar una mascarilla y guantes para la realización de las sucesivas piezas. Como he anticipado antes, la fibra de vidrio tiene innumerables propiedades físico-químicas entre las cuales destacan las siguientes:

- Incombustible
- No produce gases tóxicos
- Imputrescible
- Liviano
- Excelente aislante térmico
- Inerte a muchas sustancias, incluyendo los ácidos
- Gran maleabilidad
- Altamente resistente a la tracción

Para hacernos una idea exacta de sus aplicaciones astronómicas, tanto en cúpulas de planetarios como en cúpulas de observatorios, se exponen a continuación, datos de sus propiedades mecánicas, químicas, térmicas y eléctricas, con el fin de que pueda servir de utilidad en futuros trabajos:

### **Mecánicas**

- Tenacidad (N/tex): 1.74
- Fuerza a la tracción (MPa): 4400
- Elongación hasta rotura (%): 5.2

### **Térmicas**

- Conductividad Térmica (W/m °K): 1
- Resistencia termomecánica: 50% después de 150 h a 750 °C

### Eléctricas

- Resistividad (ohm x cm): 10<sup>14</sup> - 10<sup>15</sup>
- Factor de disipación dieléctrica: 0.0019 a 105 Hz

### Químicas

- Absorción de humedad a 20 °C y 60% de humedad relativa (%): 0.1
- Resistencia a los disolventes: alta
- Resistencia a la intemperie y los rayos UV: alta
- Resistencia a microorganismos: alta

A la vista de estos datos, especialmente de las tensiones y fuerzas que soporta, entendemos mejor, cómo no sufrió ningún daño durante el montaje en el hueco de la escalera. Además, los datos ofrecidos no dejan lugar a dudas de que se trata del material ideal para la fabricación de nuestra cúpula de planetario.

Tomando las precauciones oportunas ya mencionadas, la fibra de vidrio es fácil de trabajar, aunque un poco lenta porque hay que esperar entre secado y secado.

## 4.2 Diseño de la cúpula del planetario

Una vez elegido el material que vamos a utilizar en nuestra cúpula, quedan por definir las medidas, el tipo de fibra a utilizar, la pintura y otras variables que después afectarán al tamaño, al peso de la cúpula y su reflectividad, entre otros parámetros de menor importancia.

Queremos dejar constancia escrita de la colaboración de “Poliésters Lallana”, concretamente del empresario Alberto Lallana, quien altruistamente me prestó sus instalaciones y la experiencia de toda una vida trabajando la fibra de vidrio. Por otra parte, gran parte de la construcción también se realizó con la colaboración de “Talleres H. Chicharro”, quienes se hicieron cargo de todos los costes de construcción y me ayudaron en el posterior montaje.

#### 4.2.1. Medidas y molde

Lo primero que definir, son las medidas de nuestra cúpula y para ello medimos el hueco de la escalera, tal y como hizo Raúl Cacho. En la primera medición que realicé, encontré una diferencia con la medida de Raúl Cacho de un centímetro más estrecha de ancho, es decir, 263 cm. Después pude apreciar que la anchura entre las dos paredes oscila entre 264 cm y 2.62cm, hecho que más adelante se demostrará muy importante a la hora del montaje.



Figura 4.1 Hueco de la escalera donde irá ubicada la cúpula

Tras cerciorarme de sus medidas, 2.64 x 2.55 x 3.20 m, decidí al igual que él, hacer una cúpula de 1.32 m de radio, lo cual nos da una esfera de perímetro  $P = 8.294$  m.

Lo siguiente y muy importante es decidir cómo abordar el problema de la esfericidad, es decir, cómo fabricarla. En un principio, pensamos utilizar de molde la cúpula ya existente, pero tampoco hubiera servido de molde porque no ofrecería la resistencia requerida para tal propósito. Cuando nos decidimos a hacerla semiesférica se planteó el gran problema de cómo hacer el molde. Se descartó fabricarla en una única pieza de molde porque conseguir una semiesfera de 1.32m de radio es francamente difícil y el transporte y montaje sería muy dificultoso.

Gracias al artículo mencionado antes, nos decidimos a hacerla por “gajos” que solaparan uno con otro y por tanto el molde sería de uno de los gajos. Para nuestro propósito, lo primero que había que hacer es decidir de cuántos gajos iba a consistir nuestra cúpula. Interesaba que fueran los mínimos gajos posibles, pero a la vez que el tamaño individual de uno fuera manejable, puesto que si no, sería difícil de trabajar. Preferiblemente también tendría que ser un número par de gajos ya que las uniones entre estos se marcan levemente y conviene que las direcciones cardinales aparezcan en estas uniones.

El compromiso entre número de gajos y perímetro en la base nos hizo elegir el de 8 gajos con 103.7 cm de base frente al de 10 gajos (82.9 cm) y al de 6 que excede el metro de perímetro (138.2 cm) empieza a ser poco manejable.

Para la construcción del molde, la principal dificultad consistía en cómo dar en madera la curvatura necesaria, por lo que finalmente, decidimos encargar el molde de un gajo a un escayolista para lo cual fue preciso dar el radio de toda la cúpula y el perímetro del gajo.



Figura 4.2 Fotografía del molde en escayola

Una vez obtenido el molde en escayola, se empezará haciendo el molde real de la cúpula, en fibra de vidrio.

#### **4.2.2 Elección del tipo de fibra, reactivo y pinturas.**

Cada trabajo requiere un tipo de fibra determinado. Como uno de nuestros principales objetivos es que la cúpula no pese mucho, asesorada por el técnico en poliéster, seleccionamos una fibra de 1.5 mm de espesor, esperando dar tres capas de fibra con el fin de que quede consistente pero a la vez liviano. De todas formas, otra ventaja de la fibra de vidrio es que si no quedara con el grosor deseado, siempre podemos aplicar más fibra.

De esta manera entre el grosor de cada capa y lo que aumentará con el reactivo, la cúpula quedará con un grosor de unos 4 mm aproximadamente y tendrá un peso de unos 3 kg por gajo, por lo que la cúpula rondará los 25 Kg. Esta primera estimación nos dio una idea para empezar a pensar cómo sujetarla en el hueco de la escalera, dado que la diferencia de peso con respecto a la de cartón-pluma es notable.

Con respecto a la pintura, desde el principio el Prof. Zamorano y yo estuvimos de acuerdo en que utilizaríamos un blanco mate, ya que de lo contrario, a lo mejor la reflectividad que ofrecería la cúpula sería excesiva y para darle otra pintura más reflectante siempre estaríamos a tiempo.

La otra pintura que necesitaremos es una pintura de aspecto rojizo que aplicaremos al molde, conocida como desbloqueante y como su propio nombre indica, se utiliza para desmoldar y permitir que la pieza salga del molde.



Figura 4.3 El cubo de la izquierda contiene resina o reactivo y el de la derecha el catalizador que actuará como solidificador.

La sustancia final que se aplica una vez colocada la fibra, consiste en una mezcla entre la resina y el catalizador en una proporción de  $6 \text{ cm}^3$  cada  $100 \text{ cm}^3$ .

#### **4.3 Construcción de la cúpula**

El molde de escayola se encargó a finales del 2009 y estuvo listo a principios de Enero, momento en el cual empecé a construir el molde en fibra de vidrio. A este molde le hice una especie de solapa, con el fin de unir perfectamente mediante tornillos o remaches todos los gajos. Además, también era importante hacer al molde un borde de 1 cm de ancho que diera a la cúpula resistencia y además un lugar donde pudiera apoyar cuando la sujetáramos a las paredes. Para hacer la solapa, colocamos una plancha de fibra de vidrio unida al molde de escayola en prolongación con él y en el borde otra tira a modo del borde que acabo de describir.



He de decir que esta primera parte es la más importante de todas, ya que todos los 8 gajos van a ser una réplica exacta de este primero y por eso este primero ha de quedar lo mejor que se pueda. Sobre todo es importante la primera última mano de fibra y en cada una de ellas (especialmente en la última) hay que poner especial esmero en que queda perfectamente lisa y homogénea, porque la última capa del molde, será después la superficie interna de nuestra cúpula. Hay una diferencia fundamental entre la realización del molde y la de los otros 8 gajos y es que en los otros la capa importante es la primera y en el molde es la última.

Una vez colocadas las partes extras en el molde de escayola empezamos el proceso haciendo la mezcla de reactivo y catalizador en las proporciones antes indicadas. Es importante remover bien la mezcla para que el “secador” (el catalizador) actúe de igual forma por todas partes. En la siguiente fotografía se ve los dos cubos de reactivo y catalizador y en el centro estoy haciendo la mezcla. Este es un proceso que será análogo para los gajos.



Figura 4.4 Removiendo la mezcla

A continuación cogemos el rollo de fibra y cortamos un pedazo de las dimensiones del molde de escayola. Lo que sobre lo cortamos esforzándonos en que el recorte quede bien a ras. La primera sensación que tuve al coger la fibra y recortarla es que había que tener cuidado porque los finos hilos entretejidos de fibra, se clavan en la piel de una forma muy molesta.

Cuando la hemos recortado, hay que intentar que la malla de fibra ajuste todo lo mejor posible al molde. De esto dependerá buena parte del resultado final en el molde. Para ello, le hacemos unos pequeños cortes en diferentes sitios y de esta forma la tela cae mucho mejor sobre la superficie del molde.



Figura 4.5 Recortando la malla de fibra

Una vez bien ajustada, cogemos el rodillo y empezamos a dar una abundante mano de mezcla como si de pintura se tratase (aunque con más precaución), primero por las uniones del molde de escayola con las solapas y el borde para que estas dos partes queden bien unidas y después por todo el gajo. En esta parte es importante que quede una textura perfectamente homogénea y lisa, para lo cual en los sitios donde se queda un poco levantado por la curvatura, insistimos pasando muchas veces el rodillo.

**¡¡IMPORTANTE!!**

Quisiera llamar la atención en el hecho de que la fibra de vidrio es tóxica y peligrosa (es inflamable), por lo que debe trabajarse con las medidas oportunas, es decir, **SE DEBEN USAR GUANTES Y MASCARILLA Y SE DEBE TRABAJAR EN UN LUGAR VENTILADO.**





Figura 4.6 Empezando a dar la mezcla



Figura 4.7 Dando la mezcla

Una vez hemos dado la primera capa quedará un aspecto como este en donde se pueden ver unos “grumos”. Dichos “grumos” desaparecerán cuando demos la segunda mano. Para ello hacemos lo mismo que antes, es decir, recortamos otra malla de fibra y le aplicamos el reactivo.



Figura 4.8 Después de la primera capa

El proceso es completamente “iterativo”, de tal manera que una vez aplicada la segunda mano, volvemos a recortar una malla de fibra y a dar la mezcla.



Figura 4.9 Tras tres capas de malla de fibra y mezcla.

En esta foto se puede ver, que en la parte del borde pongo especial cuidado, ya que es conveniente rematar esta parte para que haga bien el pliegue. De hecho aquí cambiaba a un rodillo más pequeño.

Cuando hemos terminado, se deja secar. Tras días dejándolo secar, al molde lo único que le falta es darle el “desbloqueante”, con lo que el resultado final fue el que se muestra en la figura 1.12.



Figura 4.10 Molde en fibra de vidrio. A la derecha se puede ver el rollo con la malla de fibra

Como he mencionado anteriormente, esta pintura hará que los gajos se puedan extraer del molde con relativa facilidad.



#### 4.3.2 Construcción de un gajo

La construcción del primer gajo es análoga a la construcción del molde, salvo porque en ésta no hay que poner ninguna pieza extra y únicamente nos limitamos a reproducir el molde. La otra diferencia es en que ahora lo que primero que hacemos es pintar el molde con la pintura blanca que hemos elegido para la cúpula. Así pues, cuando levantemos el gajo del molde, éste ya saldrá pintado.



Figura 4.11 Pintando el molde

Una vez se ha secado ya podemos empezar con nuestro primer gajo de igual forma que hicimos con el molde. Ponemos la malla de fibra recortada y aplicamos el reactivo hasta que le hemos dado tres manos y se deja secar.

Al día siguiente cuando está bien seco, ya podemos levantarlo del molde. En este proceso hay que extremar las precauciones para que el gajo no se rompa y conviene hacerlo entre varias personas que vayan levantando el gajo de varios puntos.



Figura 4.12 Levantando la pieza del molde

El resultado del primer gajo se puede ver en la Figura 4.13



Figura 4.13

El cálculo del peso aproximado que realizamos al principio no era muy malo, ya que el peso de un gajo es de 4 kg y por tanto el peso total de la cúpula será de 32 kg. El proceso de fabricación de los 8 gajos y el molde llevó aproximadamente unas 40 horas, pero sin duda lo más difícil fue como veremos más adelante la colocación de la cúpula en el hueco de la escalera.

## **4.4 Montaje**

### **4.4.1 Primer montaje**

El primer montaje de todos los gajos lo hicimos a principios de Abril en el propio taller donde se fabricaron. Este primer montaje nos permitió además de comprobar que todo era correcto, poner los primeros remaches en las solapas de los gajos. El montaje fue todo un éxito, los gajos se solapaban perfectamente y en el zénit apenas quedaba agujero entre los gajos. Aún así, decidimos que cuando montáramos en la facultad pondríamos un círculo blando también de fibra, para tapar posibles imperfecciones y sujetar también la cúpula desde este punto.



Figura 4.14 La cúpula montada por primera vez

#### 4.4.2 Montaje definitivo en el hueco de la escalera

En lo que se refiere a la sujeción de la cúpula en el hueco de la escalera, decidimos sujetarla de 5 puntos debido al peso de la misma. Tres puntos con unas escuadras de acero inoxidable, una cuarta barra de pared a pared del mismo material y por último de una varilla en el cénit.

Al igual que lo que sucedió con la anterior cúpula el acceso por las escaleras quedaba limitado a una altura de 1.75m por lo que se hubiera tenido que recortar la cúpula. No obstante, y dado que la idea no nos convencía, propuse tirar el falso techo que se encontraba en el hueco con la posterior aprobación del Vicedecano de Infraestructura, mi propio director del proyecto y el director del Departamento Nicolás Cardiel López. Por tanto, la semana anterior al día del montaje acordado, pedimos una escalera de altura suficiente y además de medir mediante una trampilla que había en el techo, la altura hasta el techo real, tomamos fotos para hacernos una idea de los tubos y cables que se encontraban en esa zona.

Como se puede ver en la foto, hay unos tubos que en principio se encuentran lejos de donde vamos a hacer el agujero para incrustar la cúpula. Desgraciadamente, cuando llegó el día del montaje y el momento de abrir, nos percatamos de que esos conductos nos afectaban.

En el hueco entre el falso techo y el real, pude medir 60 cm, por lo que decidí meter la cúpula 50 cm y que la varilla para sujetar desde el cénit colgara del techo 10 cm. Lo único que falta, es hacer el cálculo del radio de la circunferencia a recortar en el techo. Con este sencillo cálculo vemos que la circunferencia a recortar debe tener un radio de 103cm.

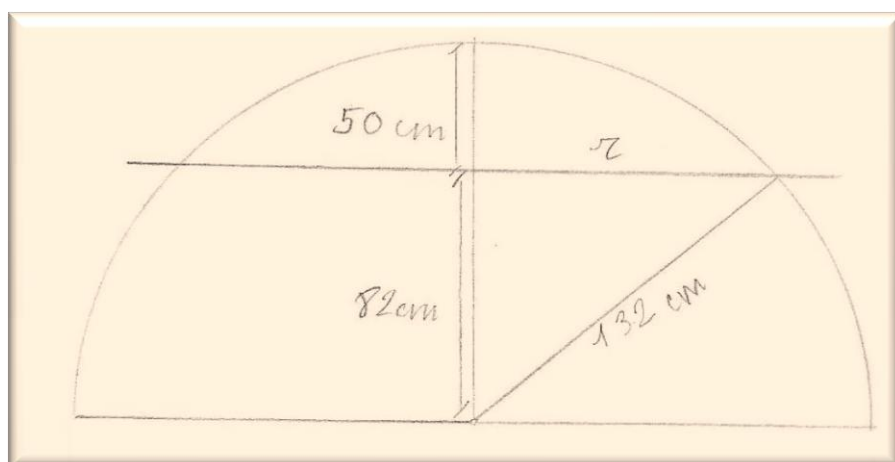


Figura 4.15



$$r^2 + 82^2 = 132^2 \Rightarrow r = \sqrt{132^2 - 82^2} = 103.4cm$$

El viernes 23 de Abril, día de San Jordi, montamos la cúpula en la facultad. El montaje duró desde las 5 de la tarde hasta las 11 de la noche y en él intervinieron 10 personas.

Una vez subido todo el material y los gajos de la cúpula nos dispusimos a montar los andamios, los cuales más tarde modificaríamos por accesibilidad a la hora de hacer encajar la cúpula.



Figura 4.16 Montaje de los andamios en el hueco de la escalera

Seguidamente dibujamos la circunferencia a recortar en el techo con un compás gigante propiedad de Talleres Chicharro.





Figura 4.17 Trazando la circunferencia de 1m de radio con el compás gigante

Se hizo el agujero quitando todas las barras correspondientes



Figura 4.18 Una vez hecho el agujero

Y colocamos la primera pieza de la cúpula; la barra de unos 10 cm que colgaría en el techo y que iba anclada a la cúpula mediante un plato circular de unos 20 cm.



Figura 4.19 Montaje del plato de sujeción

Finalmente montamos la cúpula uniendo los gajos con los remaches que fueron oportunos.

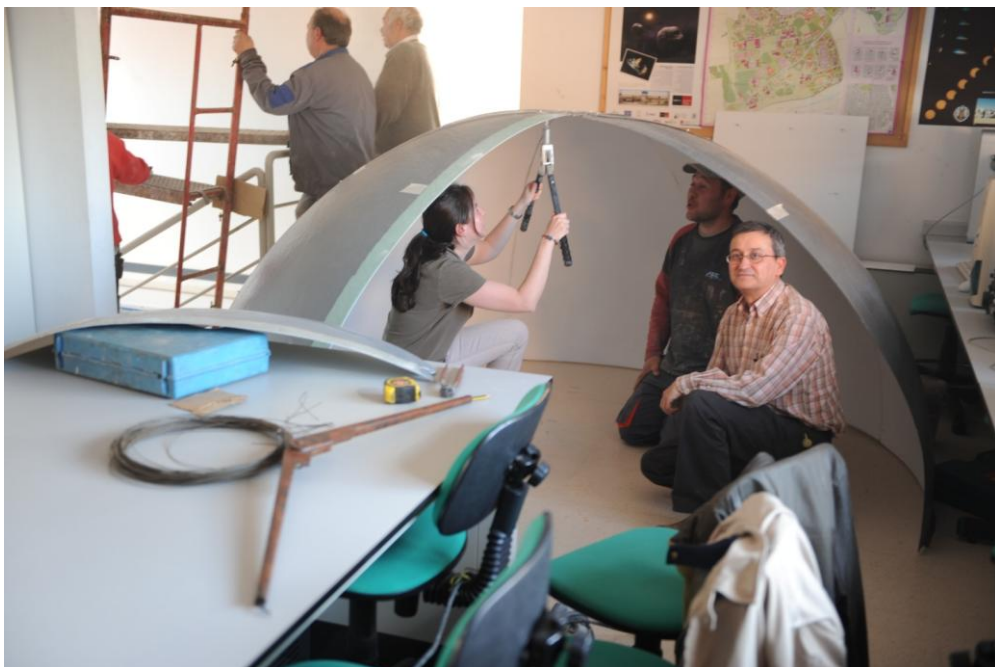


Figura 4.20 Alberto Lallana, Jaime Zamorano y Raquel Chicharro uniendo los gajos con remaches

Y nos dispusimos a meterla, o mejor dicho, encajarla en el hueco de la escalera. Sin lugar a duda, esta parte fue la más dura. En el primer intento creíamos que los andamios nos serían útiles y no estorbarían, pero nos equivocamos y la tuvimos que sacar.



Figura 4.21 Aspecto de la colocación de la cúpula desde la ventana

Como se aprecia, el andamio estorba, hecho del cual se hablará en el apartado de cuidado y mantenimiento de la cúpula, donde se tratará de la accesibilidad, por si en un futuro se tuviera que desmontar y montar.

Tras este intento, decidimos montar el andamio por la parte superior y quedarnos únicamente con la parte que apoyaba en los salientes de la pared. Una vez así, consideramos poner una escalera con la que poder llegar a enganchar la cúpula a la varilla, a nuestro primer punto de apoyo.

Finalmente tras otro segundo intento donde la cúpula se cayó, sin sufrir afortunadamente ningún daño, conseguimos fijarla al techo, esta vez sin soltarla y sin confiarnos en que con un punto de apoyo se auto sostendría.

He decir, que realmente la cúpula se puede sostener sólo con la varilla y nuestro fallo residió en poner mal el taco, ya que éste no penetró bien en el techo.



Figura 4.22 Colocando la cúpula sin parte de los andamios.

En el momento de la colocación la cúpula fue sujeta por 6 personas (2 desde la ventana de la escalera y el resto sobre andamios y en el lado de subida de la escalera), y un par dentro de ella para localizar y meter la varilla.

La cúpula se metió en el techo unos 40 cm dejando un pequeño hueco debido a que unos tubos impedían la colocación que originalmente había calculado.



Figura 4.23 La cúpula ya sujeta

Además, la cúpula quedó sujeta de otros tres puntos más con una barra de lado a lado de la pared de la ventana y dos ángulos en las restantes paredes. Tres días después colocamos la cuarta barra.

## **5. Cuidado y mantenimiento de la cúpula.**

Este apartado pretende ser una “guía del usuario”, de tal modo que si en el futuro hubiera que hacer algún arreglo, mantenimiento, limpieza etc. este punto sea de utilidad para dichos propósitos.

### **5.1 Limpieza**

En lo referente a la limpieza de la cúpula, al finalizar el montaje se limpió con acetona y con papel blanco. Recomendando que la limpieza, siempre se haga con acetona y por supuesto con un paño blanco. **NO USAR UN PAÑO DE OTRO COLOR QUE NO SEA BLANCO**, porque desteñiría la cúpula. Aún así, puesto que se trata de fibra de vidrio, también se podría limpiar con un simple paño mojado en agua. No hay que tener miedo de que se vaya la pintura o que se estropee. De hecho, las piscinas se hacen de fibra de vidrio pintada, exactamente igual que nuestra cúpula y están toda su vida útil en contacto con ella.

### **5.2 Reparaciones**

Si por algún motivo se rompiera y hubiera que repararla, no hay que olvidar que es fibra, por lo que no sería difícil unir y empalmar la zona de la rotura con una fina capa de fibra de vidrio con reactivo. Para ello ver sección 4.4 de construcción. Si aún así nadie de la propia facultad se hiciera cargo, véase el apartado 12 de agradecimientos para la dirección del taller donde fue construida.

### **5.3 Accesibilidad. Montaje y desmontaje**

En cuanto a lo que accesibilidad se refiere, en el caso de que hubiera que desmontarla y montarla otra vez, el sistema de andamios que recomiendo es el que se usó para incrustarla en el techo, es decir, unos andamios de lado a lado de la pared apoyados en los salientes y una o varias escalera.



La varilla está roscada a un taco que se encuentra en el techo y esa varilla está introducida en la cúpula, donde van unas arandelas para que no se rompa la cúpula y por último una tuerca sujetándolo todo. Así pues, en el desmontaje habría que liberar la tuerca y la cúpula de la varilla mientras unas 6 (como mínimo) la sujetan de la base.

Para el montaje se puede usar el ya empleado o también, ideando un sistema de poleas, con lo que resultaría más fácil. Se podría enganchar una o varias poleas del techo y enganchar uno de los extremos del cable a la cúpula, una vez colocada no importaría que se quedara la polea arriba.

## 6. Sistema de proyección.

Como antes he dicho, el primer trabajo que se me asignó fue el de construir un soporte que albergara el sistema de proyección elegido, el cual se ha explicado en la introducción. Este soporte debía consistir de manera simplificada en un cajón en el que se dispusieran todos elementos de proyección (Pág. 5 de la introducción figura 1.4). A continuación se muestra el primer diseño que realicé del cajón, que básicamente corresponde al que se hizo a excepción de medidas y baldas internas:

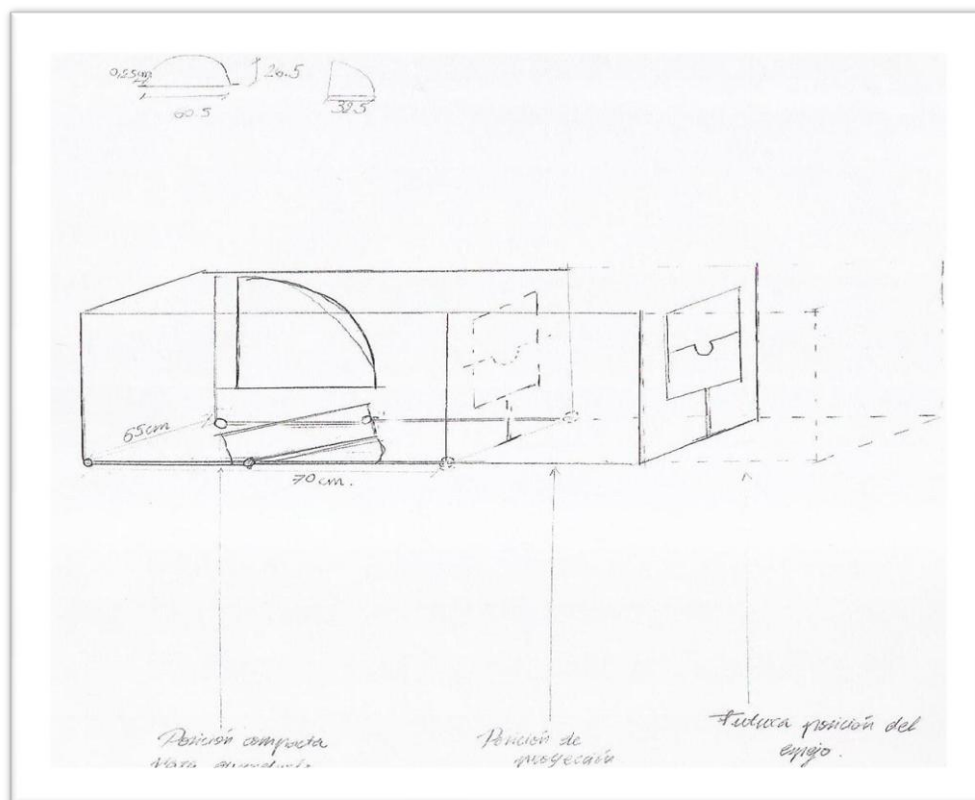


Figura 6.1 Diseño original del cajón

La razón de que decidiera poner un cajón extraíble tal y como podemos encontrar en cualquier cocina convencional fue la de poder modificar la posición del espejo plano y adecuarla a un posible cambio del proyector en un futuro, además de tener otro parámetro con el que jugar a la hora de la correcta y adecuada proyección en la cúpula del planetario.

En la figura faltan las baldas interiores del cajón, pero ya se puede ver todo el diseño final porque se entiende que el espejo esférico irá elevado sobre el proyector por lo que la balda interior será absolutamente necesaria.

El cajón fue construido en madera y posteriormente pintado de blanco y cortado, ya que resultó que las paredes del mismo se comían la imagen en la proyección. El lugar que se eligió para su colocación fue a la altura del plano de la cúpula, en el lado derecho respecto a la entrada de las escaleras de acceso a la sala de entre cúpulas. Las razones de esta colocación las veremos más adelante.

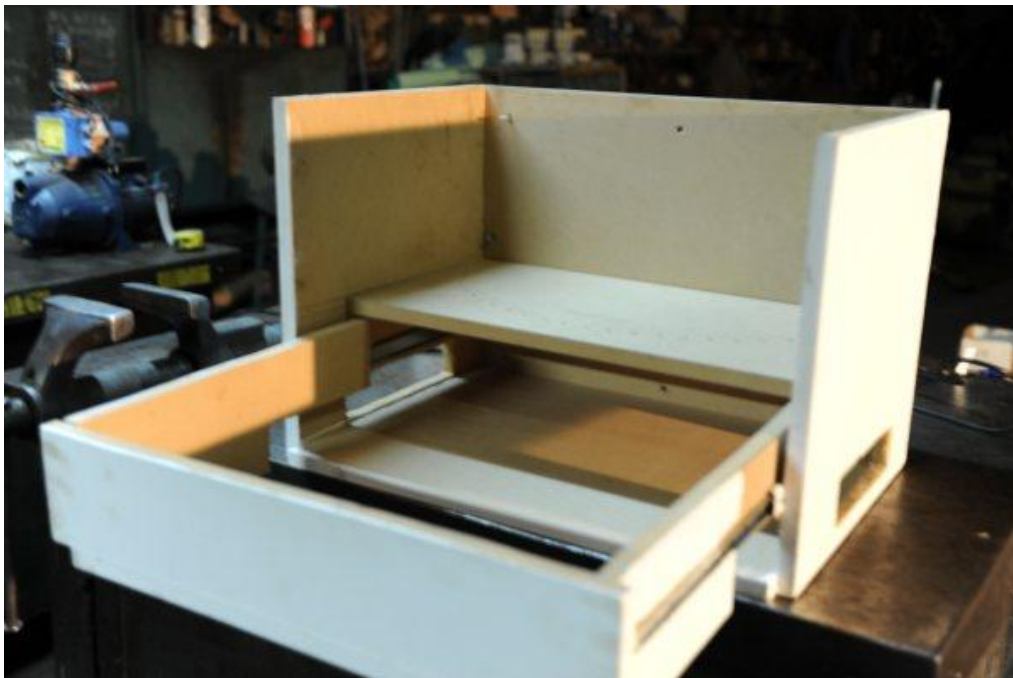


Figura 6.2 El cajón con los agujeros de ventilación

Cuando comencé el proyecto en Octubre, ya se disponía del espejo esférico y el espejo plano, aunque este último daba problemas de reflectividad como ya se anunció en los problemas abiertos. Por ello se compró otro espejo plano. En cuanto al proyector, hubo que decidir qué tipo de proyector se iba a utilizar y comprarlo

## **6.1 Elección del proyector.**

No todos los proyectores son adecuados para nuestros propósitos, sino que tienen que cumplir unas características especiales con respecto a los que se venden para home cinema. En la página web donde se venden planetarios, también se habla de los requisitos mínimos que tiene que tener el proyector (ver bibliografía para referencias).

### **6.1.1. DLP versus LCD**

Primeramente elegimos comprar un proyector DLP y no LCD, en cuanto a que los viejos proyectores LCD no nos ofrecen un fondo tan negro como un DLP y en un planetario este es un hecho de vital importancia. Un fondo oscuro o negro es más real que un fondo gris para representar el cielo estrellado con un programa de ordenador. Además la tecnología DLP de los nuevos proyectores en el mercado, permite tener una alta relación de contraste y luminosidad.

### **6.1.2 Luminosidad.**

La luminosidad en un proyector que vaya a ser utilizado en un planetario es uno de los parámetros más importantes por no decir el que más. Ésta debe ser superior siempre a 1800 lúmenes. Se puede empezar a trabajar con una luminosidad de 2000 lúmenes, pero por supuesto, cuanto más mejor. Esta fue una de las razones para decantarnos por el proyector que finalmente adquirimos.

### **6.1.3 Relación de contraste.**

Hay que tener en cuenta que a mayor relación de contraste, mayor definición de las imágenes proyectadas dentro de la cúpula. Claro está que cuanto mayor relación de contraste tenga un proyector DLP, mayor será su coste. Los hay actualmente de una relación 2000:1 hasta 12000:1 o incluso más. La mínima relación de contraste para un planetario como el nuestro será de 2000:1, pero se recomienda un contraste más elevado al mencionado según las referencias miradas.



#### 6.1.4 Resolución.

Otro aspecto a tener en cuenta es que la resolución del equipo debe ser mayor a 780×1024 píxeles. Como en los apartados anteriores, a mayores valores, mejor calidad de la imagen proyectada.

Tabla resumen con los parámetros mínimos

Luminosidad (Lúmenes)	Contraste	Resolución (píxeles)
> 1800	> 2000: 1	> 780 × 1024

Si buscamos videoproyectores que cumplan nuestras exigencias, enseguida apreciaremos que no hay demasiados, porque casi todos están orientados al home-cinema y por tanto tienen otras características. Finalmente nos decidimos por un Full HD de la marca Acer, que superaba los parámetros mínimos y entraba dentro del presupuesto.

#### 6.2 Espejo esférico

El espejo esférico es el elemento más importante del sistema de proyección. Se compró un cuarto de esfera en plástico debido a que era más barato que en cristal, tal y como se recomienda en estos sistemas de planetarios. El radio del espejo esférico es de 30 cm, lo que condicionó nuestras medidas del cajón diseñado.

Este espejo tiene la misión de suplir la lente de ojo de pez. A parte de su reducido costo, tiene la ventaja de que a diferencia de las lentes de ojo de pez, este espejo no tiene que estar diseñado para la distancia focal del proyector digital que se esté usando. La desventaja como veremos, es que las imágenes que proyectan no llegan a cubrir toda la cúpula, dejando un pequeño ángulo ciego generado por la sombra del mismo, pero colocándolo en el extremo de la cúpula llegará a abarcar hasta 340° de la superficie.

### 6.3 Espejo plano

Por último el espejo plano no tiene ninguna peculiaridad y no posee otro objetivo que reflejar el haz de luz, haciéndolo incidir en el espejo esférico. Se eligió un espejo plano con el propósito de hacer el sistema de proyección más compacto y reducido porque de otra forma el proyector debería estar a una gran distancia.



Figura 6.1 Elementos del sistema de proyección

El espejo plano fue sustituido por otro, ya que la imagen no entraba por completo y por tanto no se mandaba íntegramente al espejo esférico.

## 7. Proyección en el planetario UCM

### 7.1 Software de proyección en un espejo esférico

Para la proyección en el planetario utilizaremos el software astronómico de Stellarium y la opción que tiene para proyección en cúpulas de bajo coste mediante un espejo esférico. Para adecuar la proyección a nuestras exigencias, dadas por el radio de la cúpula el del espejo y posición relativa de todo el sistema de proyección, no tenemos más que editar el fichero de configuración. Se abre el fichero de configuración inicial, config.ini y se busca el siguiente texto:

```
[spheric_mirror]
projector_gamma = 1
projector_position_x = 0
projector_position_y = 1
projector_position_z = 0.2
mirror_position_x = 0
mirror_position_y = 2
mirror_position_z = 0
mirror_radius = 0.13
dome_radius = 2.5
zenith_y = 0.125
scaling_factor = 0.8
```

Estos son los parámetros que tendremos que cambiar para ajustar la proyección. A continuación se detalla el significado de cada uno:

- **Projector\_gamma:** es un parámetro relativo al brillo del proyector.
- **Projector\_position:** son tres parámetros que indican la posición del proyector en relación a la cúpula
- **Mirror\_position:** tres parámetros que indican la posición del espejo en relación a la cúpula.

- Mirror\_radius: parámetro donde tenemos que colocar el radio del espejo que utilizaremos
- Dome\_radius: parámetro donde pondremos el radio de la cúpula.
- Zenith\_y: parámetro para ajustar la posición y del zenith de la proyección. Sirve para corregir la inclinación (tilt) del proyector
- Scaling\_factor: parámetro de zoom. Se utiliza para contrarrestar el zoom que puede introducir el proyector.

El significado de estos parámetros se puede encontrar en la guía de usuario de Stellarium y en Stellarium wiki.

La opción de proyección en cúpula, depende de la versión de Stellarium que se desee utilizar. Sin embargo, en todas ellas es necesario ir al menú de herramientas primero. Con la última versión de Stellarium se procedió a probar esta opción de proyección. Lo que resultó con esta versión es que el programa se colgaba. Lo mismo sucedió para toda la versión 10 de Stellarium, por lo que se decidió probar con la 9 y ésta dio buenos resultados. Así pues, dentro de la versión 9 decidimos quedarnos con la más moderna que funcionara bien, es decir, con la 9.0.

En nuestro caso pusimos los siguientes parámetros en el archivo de configuración:

Posición del espejo esférico: (0, 1.33, 0)

Posición del proyector: (0, 0.72, -0.35)

$R_{\text{dome}} = 1.33\text{m}$

$R_{\text{mirror}} = 0.30\text{m}$

El sistema de referencia que emplea el programa se puede encontrar en Stellarium wiki (ver bibliografía) y se muestra a continuación en este dibujo:

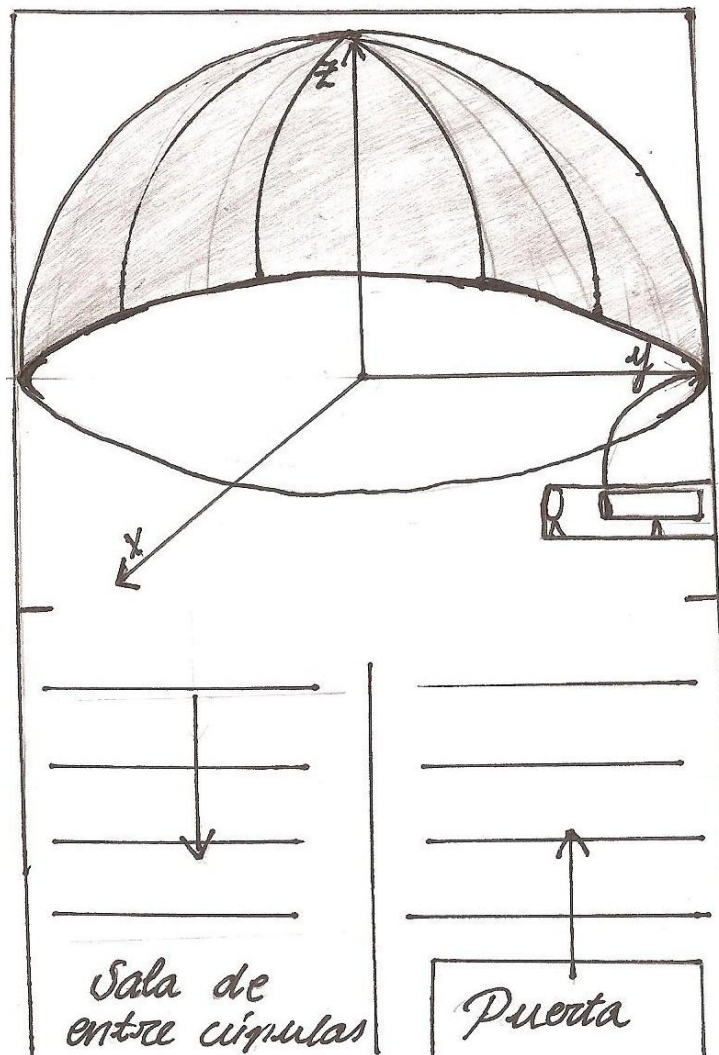


Figura 7.1 Ubicación del sistema de proyección

Además, debemos cambiar el valor de “distorter” que se encuentra en none y es conveniente que la imagen inicial se vea en pantalla completa, por lo que deberemos activar esta opción. Por último, es importante destacar las imágenes aparecerán al revés por el sistema óptico de espejos que estamos usando. Por esta razón se debe hacer un flip horizontal.

Cuando esté corriendo Stellarium, el menú deberá estar visible para que nos sea más fácil la configuración. Dependiendo de lo que se quiera hacer en las charlas, deberá o no estar visible.

Para la correcta proyección en nuestro planetario, debemos alterar los valores del código de config.ini a los siguiente:

```
[video]
fullscreen          = true
screen_w            = 1400
screen_h            = 1080
bbp_mode            = 32
horizontal_offset    = 0
vertical_offset      = 0
minimum_fps         = 10
maximum_fps         = 60
distorter           = fisheye_to_spheric_mirror
non_power_of_two_textures = true
```

```
[projection]
type                = fisheye
viewport            = disk
flag_use_gl_point_sprite = false
```

Se eligió el actual sitio para el sistema de proyección, pensando en que el enchufe que daría alimentación al proyector está a la altura del poyete que rodea toda la pared y en el lado derecho respecto a la puerta de entrada.

Cuando la proyección se distorsiona para nuestros valores, se ve la siguiente imagen en Stellarium:

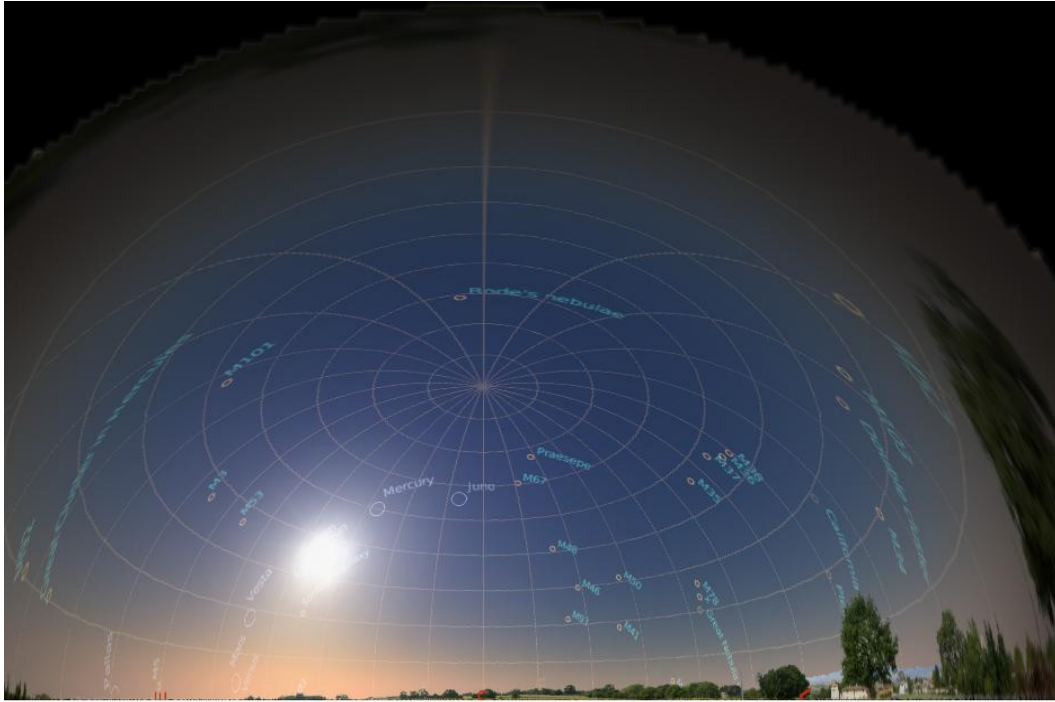


Figura 7.2 Proyección para el Planetario UCM

Es importante recordar que cuando se esté haciendo una proyección en el Planetario UCM no se dispondrá del menú de herramientas como se aprecia en esta imagen. Por esta razón se ha incluido en el apéndice I las teclas rápidas de control de Stellarium.

En cuanto a la localización, hemos incluido en el archivo de configuración inicial , las coordenadas del observatorio UCM.

```
[init_location]
name                = UCM_observatory
latitude            = +40d 27'4.0"
longitude           = -3d 43'34.0"
altitude            = 640
landscape_name      = guereins
time_zone           = system_default
time_display_format = system_default
date_display_format = system_default
home_planet         = Earth
```

## **7.2 Colocación y montaje del cajón con el sistema de proyección**

La primera vez que se dispuso el cajón con todos los elementos dentro del mismo, apreciamos que había un problema con la refrigeración del proyector al encontrarse en un espacio tan cerrado, por lo que decidimos hacer unas perforaciones al cajón, de tal modo que en todo momento hubiera una circulación del aire caliente que genera el ventilador del proyector. No creemos necesaria una ventilación forzada aparte del ventilador propio del proyector. Este extremo debe ser comprobado después de un uso continuado.

Una vez bien colocados los elementos dentro del cajón se montó, teniendo en cuenta que habría varias salidas de cables del cajón cuando se deseara hacer una proyección. Uno de ellos es el de alimentación del proyector que se debe de enchufar al enchufe del poyete en la pared, el cual fue puesto por el Dpto. en ese lugar para uso específico del Planetario UCM.

El otro y más importante es el que enchufará la persona encargada de la proyección al ordenador para la ejecución de la misma. Se ha previsto alargar y conducir este cable desde la salida del cajón, a lo largo del poyete de la pared hasta llegar a la parte de las escaleras, donde se encontrará el ponente de la charla o la persona que se encargue de la proyección. Así pues, esta persona se encontrará el cable en la correcta posición y simplemente deberá enchufarlo al ordenador.



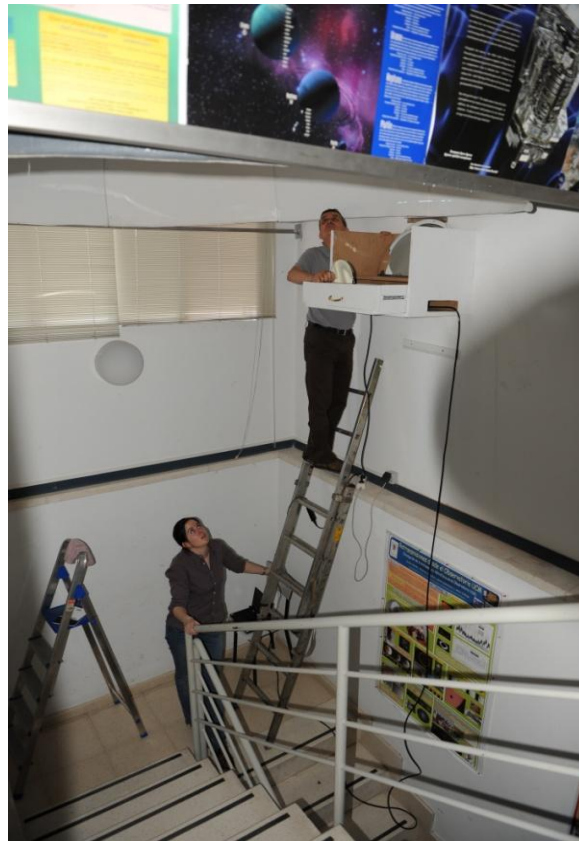


Figura 7.3 El sistema de proyección una vez montado.

### 7.3 Cómo hacer una proyección en el Planetario UCM

1. Enchufar el proyector
2. Encender el proyector con el mando
3. Encender el ordenador y conectar el cable de conexión con el ordenador
4. Arrancar Stellarium
5. Presionar el modo de pantalla LCD del ordenador
6. Esperar hasta que aparezca la imagen en la cúpula
7. Para apagar el proyector es necesario presionar dos veces el botón de encendido cuando así lo indique y dejar funcionar el ventilador hasta que este esté totalmente apagado, al término de la proyección.

## 8. Resultados

El Planetario UCM se presentó por primera vez en el CEA (Congreso Estatal de Astronomía) que se celebró en Madrid, el día 18 de Septiembre de 2010 y posteriormente tuvo lugar la primera sesión de funcionamiento del planetario con motivo de “la noche de los investigadores”, el día 24 de Septiembre.



Figura 8.1 El Planetario UCM funcionando en “la noche de los investigadores” 2010.

En los sucesivos días, se realizó el ajuste fino de la proyección del planetario, retocando aspectos que no habían quedado lo suficientemente bien como fueron el enfoque y el horizonte.

El resultado ha sido excelente. Aún así, y como en todo planetario que se precie, habrá que seguir trabajando por hacer un cielo más real, como por ejemplo aumentando el tamaño de la luna, tal y como se hace en planetarios profesionales, o rebajando el color de las estrellas, parámetros que el fichero de configuración inicial de Stellarium permite modificar.

## 9. Trabajo futuro

- Se desea acondicionar el hueco de las escaleras para el público que se siente en las mismas a ver la proyección UCM. Para ello se ha pensado poner una especie de cojines, a modo de “butacas” en el planetario. Se ha estimado que en una sesión pueden entrar hasta 20 personas.
- Instalación del horizonte UCM en una versión de Stellarium con la que sea compatible.
- Modificación de diferentes parámetros con objeto de hacer un cielo más real.
- Por último, se podrían hacer scripts o bien utilizar los ya existentes en Stellarium con el fin de crear pequeños programas de animación para público con diferentes “backgrounds” y edades, es decir, empezar a hacer pequeños programas similares a los que tiene el Planetario de Madrid.

## APÉNDICE I: TECLAS DE MANEJO DE STELLARIUM





<i>Button</i>	<i>Shortcut key</i>	<i>Description</i>
	j	Decrease the rate at which time passes
	k	Make time pass as normal
	l	Increase the rate at which time passes
	8	Return to the current time & date

Table 3.2: Time control tool-bar buttons

	ESC	Close any open windows (help, info, & configuration)
Time & Date	6	Time rate pause (or script pause when a script is running)
	7	Set time rate to zero (time stands still)
	8	Set time to current time

	j	Decrease time rate (or decrease script speed if a script is running)
	k	Set time rate to normal (1 second per second)
	l	Increase time rate (or increase script speed if a script is running)
	-	Move back in time 24 hours
	=	Move forward in time 24 hours
	[	Move back in time 7 days
	]	Move forward in time 7 days
Other	CTRL+c	Stop a running script
	CTRL+q	Quit Stellarium. (command+Q on the Mac)
	<	Volume down (only when a script is playing)
	>	Volume up (only when a script is playing)
	9	Cycle through meteor shower rates: low; medium; high; very high
	CTRL+SHIFT+h	toggle horizontal image flipping (see section 5.10)
	CTRL+SHIFT+v	toggle vertical image flipping (see section 5.10)

	P	planet labels with orbits
	g	Toggle drawing of ground
	a	Toggle drawing of atmosphere
	f	Toggle drawing of horizon fog
	q	Toggle drawing of cardinal points (N, S, E, W)
	o	Toggle moon scaling (4x /1x)
	t	Toggle object tracking (moves the view to keep selected object in the centre)
	s	Toggle drawing of stars
	4 or ,	Cycle through: draw ecliptic; draw ecliptic & planet trails; draw neither
	5 or .	Toggle drawing of equator line
Windows & other controls	CTRL+s	Take a screenshot (will be written to stellarium*.bmp)
	CTRL+r	Toggle script recording
	CTRL+f	Toggle search window
	h	Toggle help window
	i	Toggle information window
	1 (digit one)	Toggle configuration window
	m	Toggle text menu

	CTRL+up/down cursors	Zoom in/out
	Mouse wheel	Zoom in/out
	Left mouse button	Select object
	Right mouse button	De-select object
	Backslash (\)	Auto-zoom out
	Forward-slash (/)	Auto-zoom in on selected object
	Space	Centre on selected object
Display Options	Enter	Swap between equatorial and azimuthal mount
	F1	Toggle full-screen mode (not available on some architectures)
	c	Toggle drawing of constellations
	b	Toggle drawing of constellation boundaries
	v	Toggle drawing of constellation names
	r	Toggle drawing of constellation art
	d	Toggle star names
	n	Toggle nebulae names off / on (short) / on (long)
	e	Toggle drawing of RA/Dec grid
	z	Cycle through: show meridian line; show Alt/Azi grid; neither

## **11. Bibliografía y referencias**

### **Construcción de la cúpula en fibra de vidrio**

Propiedades del poliéster:

[www.textil.org/extranet/inf/Revista18/pag19.pdf](http://www.textil.org/extranet/inf/Revista18/pag19.pdf)

Cúpulas geodésicas:

<http://www.desertdomes.com/>

Cúpulas en fibra de vidrio:

<http://www.strombergarchitectural.com/products/domes/materials/gfrp--glass-fiber-reinforced-polymer--domes>

Fiberglass for an Observatory Dome (Sky & Telescope, june 1985 vol 69, no. 6 page 559). Tatsuro Matsumoto

### **Software**

Página oficial de Stellarium:

<http://www.stellarium.org>

Stellarium wiki:

[http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Main\\_Page](http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Main_Page)

Proyección en Stellarium con un espejo esférico (Stellarium wiki):

[http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Setting\\_up\\_your\\_own\\_dome\\_using Stellarium%27s spheric mirror distortion feature](http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Setting_up_your_own_dome_using_Stellarium%27s_spheric_mirror_distortion_feature)

Guía de usuario de Stellarium:

[http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Category:User%27s Guide](http://www.stellarium.org/wiki/index.php/Category:User%27s_Guide)

### **Planetario**

Blog del grupo de planetarios pequeños:

[http://tech.groups.yahoo.com/group/small\\_planetarium/](http://tech.groups.yahoo.com/group/small_planetarium/)

## 12. Agradecimientos

- Al **Dpto. de Astrofísica y CC. De la Atmósfera** en especial a su director, **Nicolás Cardiel**, a **Jesús Gallego** y a **Jaime Zamorano**, vicedecano de infraestructura y director del trabajo, por su paciencia y por la confianza que depositaron en mí en todos los momentos.
- A **“Poliesters Lallana”** y en especial al empresario **Alberto Lallana** por dejarme sus instalaciones y enseñarme a trabajar la fibra de vidrio para la construcción de la cúpula.
- A los chicos de Alberto. Goyo Benítez, Alberto Lallana (hijo). A todos, gracias por la ilusión con que me ayudasteis a montar la cúpula.
- A Jaime Izquierdo por quedarse a montar la cúpula un viernes hasta media noche, después de todo un día de trabajo.
- A David Montes por prestarnos su trípode y por las fotos que estuvo sacando el día del montaje desde abajo.
- A mi madre, M<sup>a</sup> Luisa Fuertes, por todas las fotografías que hizo, desde el primer día hasta el último.
- Y muy en especial a **Hipólito Chicharro Pascual**, empresario de “Talleres H. Chicharro” y mi padre, por asumir casi todos los gastos del proyecto, por su apoyo, paciencia y determinación a la hora de emprender este proyecto conmigo. A él, porque cuando nadie más lo vio, él lo vio conmigo. Y por supuesto por la confianza que toda la vida ha tenido en mí. Sin él, la fabricación de un planetario así nunca hubiera sido posible.



Figura 12.1 Parte del equipo que montó la cúpula. De izquierda a derecha: Alberto Lallana, M<sup>a</sup> Luisa Fuertes, Jaime Izquierdo, Raquel Chicharro, Hipólito Chicharro y Jaime Zamorano.

### ***Lugar de construcción del Planetario UCM***

*Talleres H. Chicharro  
C/Fernández Shaw n:4  
28007 Madrid (España)  
Tlf. 91 5515091*